

Risiko in Ingenieurwissenschaft und Ingenieurpraxis

Ekardt, Hanns-Peter

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 1999 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.165-185



J. Cramer Verlag, Braunschweig

HANNS-PETER EKARDT, Kassel

Risiko in Ingenieurwissenschaft und Ingenieurpraxis

Hannover 28. Juni 1999*

Gliederung:

1. Einleitung. Risiko in Perspektive
2. Ingenieurrationalt t und technische Rationalität. Sicherheit als Aspekt der Ingenieurrationalt t
3. Objektentwurf und Sicherheitsaussagen – zwei Aspekte technischer Sicherheit
4. Sicherheitsaussagen und Sicherheitstheorie
5. Die Sachlogik der Anlagenentwicklung – Eingriffspunkte für die Sicherheitsgewährleistung
6. Technikentwicklung durch Projekte – experimentelle Praxis mit evolutionärem Risiko
7. Schlußbemerkung, Sicherheit als Praxisanspruch

1. Einleitung: Risiko in Perspektive

Die öffentliche Wahrnehmung von schweren Schadensfällen, zum Beispiel des ICE-Unfalls in Eschede, gibt Anlaß zur Unterscheidung von drei Perspektiven auf technische Risiken (Abb. 1). Die erste Perspektive ist die der Betroffenen. Aus verständlichen Gründen dominiert diese Perspektive in Beiträgen von Massenmedien zu technischen Risiken. Der am 6. 5. 99 im ZDF ausgestrahlte Film zu Eschede war hierfür ein Beispiel. Er zeichnete sich positiv durch eine gute Einfühlung in die Perspektive von Angehörigen und von mit dem Leben davongekommenen Opfern aus. Insbesondere gelang es den Autoren des Films, auch die Perspektive der Bahnbenutzer *vor* dem Unglück zu rekonstruieren. Der Film schaute nicht von oben auf das Geschehen, sondern aus Augenhöhe.

Negativ fiel an dem Film auf, daß er eine zweite Perspektive ganz unzureichend einnahm, die der am Zustandekommen des Unfalls durch Handlungen und Unterlassungen Beteiligten. Ihre Persönlichkeit, ihre Motive und Interessen, die Logik ihres Handelns blieben hinter einem Schleier von Andeutungen verborgen, sie erschienen dem Betrachter des Films als Monster, die bereit waren, das Leben von Menschen dem ökonomischen Bahn-Interesse zu opfern. Es wäre zu wünschen gewesen, daß die Handlungssituation der Planer und der den Bahnbetrieb Organisierenden ebenfalls wirklichkeitsnah und nachvollziehbar geschildert worden wäre. Eine dritte Perspektive auf derartige Schadensfälle ist die technisch-wissenschaftliche, die das Geschehen in seiner technischen Verursachung und in seinem Verlauf rekonstruierende Analyse. Ein Beispiel hierfür ist der Beitrag von Knothe/

* Text ist die nachträgliche Schriftfassung des freien Vortrags, gehalten beim 2. Colloquium der Kommission „Recht und Technik“ der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

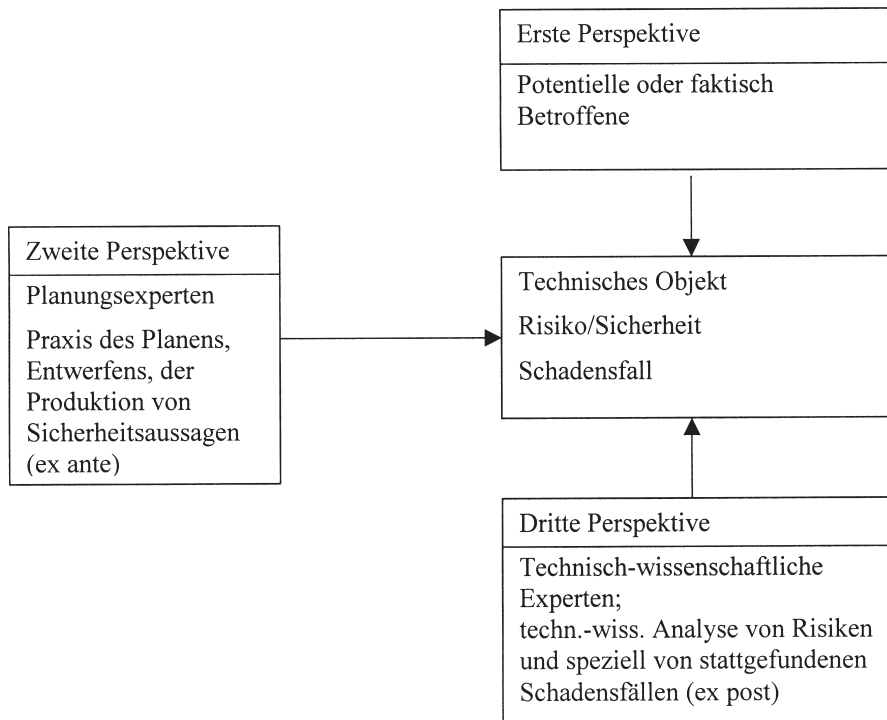


Abb.1: Drei Perspektiven auf technische Risiken und auf (stattgefundene) Schadensfälle

Böhmer (1998) zur Beanspruchung von Radreifen auf Dauerfestigkeit. Aus Analysen dieser dritten Perspektive können selbstverständlich Schlüsse für Fragen der zweiten Perspektive gezogen werden, zum Beispiel durch Organe der Justiz, jedoch nehmen sie diese Perspektive selber nicht ein und Schlußfolgerungen, Übergänge zwischen dritter und zweiter Perspektive bedürfen großer Sorgfalt, es handelt sich um Übergänge zwischen Welten, wie noch verdeutlicht werden soll.

Für eine angemessene Befassung mit Risiken der Technikentwicklung sind alle drei genannten Perspektiven von Belang, ganz gleich ob Ingenieure, Juristen oder Sozialwissenschaftler dies tun. Ingenieure, indem sie Technik entwickeln (und damit aus der zweiten Perspektive handeln), können gar nicht anders als damit Risiken zu setzen. Sie grenzen diese allerdings durch Sicherheitsstrategien ein, ihr eigener professioneller Anspruch, das Recht und auch politische Klugheit veranlassen sie hierzu. Alle drei Rücksichten schließen die Perspektive der Betroffenen ein (erste Perspektive). Die Unterscheidung von Sicherheitsklassen zum Beispiel, verbunden mit unterschiedlichen Sicherheitsbeiwerten, bedeutet faktisch eine solche Rücksicht auf Betroffene. Diese Betroffenen jedoch sind an der Technikentwicklung und an der Erzeugung und Absicherung von Risiken selber über-

haupt nicht beteiligt. Soziologen haben dieses Faktum der Trennung von Experten und Laien, von Akteuren und Betroffenen der Technikentwicklung, zum Anlaß genommen, diese mißverständlich „Risikogesellschaft“ getaufte Gesellschaft als eine zu beschreiben, die zunehmend (wieder) von Gefahren geprägt ist, nun aber von „gemachten“ und insofern legitimationsbedürftigen Gefahren zweiter Ordnung, im Unterschied zu den primären Gefahren, denen sich Menschen der Vormoderne ausgesetzt sahen (Bechmann/Wolf 1994). Die Planer unserer Eisenbahninfrastruktur setzen Risiken und fangen sie durch Sicherheitsstrategien ein (zweite Perspektive), die um ein Vielfaches größere Menge der Bahnkunden lebt unter Gefahren, für die sie aus Anlaß schwerer Schadensfälle die Planer politisch-legitimatischer haftbar machen, wie jüngst wieder im Falle Paddington (London). Die Unterscheidung von Risiko und Gefahr, so hat es Luhmann (1990) gesehen, ist also eine der Zurechnung: Das Unglück in Eschede war der Eintritt des von den Entwicklern und Betreibern des ICE riskierten Ereignisses, es war der schicksalhafte Gefahrenfall der Reisenden - es sei denn, ein Reisender hätte seiner Wahl dieser Reiseform und des speziellen Zugs ein Risiko-Kalkül zugrunde gelegt, eine wohl wirklichkeitsfremde Vorstellung. Der Begriff des Risikos, so wie wir ihn auch für die Ingenieurpraxis verwenden, setzt einen handelnden, abwägenden, kalkulierenden Akteur voraus, etwa einen Tragwerksplaner. Der ohne Überlegung auf eine Brücke fahrende Autofahrer hat es mit einer Gefahr Zweiter Ordnung zu tun, er setzt sich der Möglichkeit eines Brückenversagens aus, ohne dies einer Abwägung zugrunde zu legen. Er würde allerdings im Schadensfall, sofern er diesen überlebt, zum Ankläger der Brückenverwaltung.

Das Ziel dieses Beitrags ist es, das Zusammenspiel der zweiten und der dritten Perspektive in der Ingenieurpraxis zu schildern, also zu zeigen, inwiefern Risiko und Sicherheit Begriffe sind, die zunächst einmal der Handlungsperspektive der Ingenieure, der Praxis angehören, und daß davon die technisch-wissenschaftliche Fassung des Risiko- und des Sicherheitsbegriffs zu unterscheiden ist. In diesem Sinn sei hier die etwas merkwürdig anmutende Behauptung aufgestellt, der Ingenieur habe es mit Risiko und Sicherheit zweimal zu tun, einmal in seiner risikosetzenden und absichernden verantwortlichen Praxis (zweite Perspektive), und zweitens in einer quasi technisch-wissenschaftlichen Einstellung als Grundlage der Erzeugung von Sicherheitsaussagen (dritte Perspektive). Die gesamte praktische Verantwortung eines Tragwerksplaners wird in der zweiten Perspektive übernommen, die baumechanische Analyse von zuvor herauspräparierten Einzelaspekten, zum Beispiel die Ermittlung der Schnittkräfte für ein gegebenes statisches System bei gegebenen Lastfällen, ob im Dienst der Tragwerksplanung oder im Dienst der Prüfung, wird in der dritten Perspektive durchgeführt. Die ingenieurwissenschaftlich fundierte moderne Sicherheitstheorie wird selbstverständlich im Wissen um die Handlungsprobleme der alltäglichen Ingenieurpraxis (zweite Perspektive) entwickelt und entsprechend auch in das moderne technische Regelwerk integriert, es geschieht dies aber in einer den konkreten Praxiszusammenhängen enthobenen theoretischen Einstellung (dritte Perspektive). In diesem Sinn müssen wir dem Begriff des „*Laien*“ zwei unterschiedliche „*Experten*“ gegenüberstellen, die Experten der *Ingenieurpraxis* und die der *Ingenieurwissenschaft*, obwohl wir immer wieder eine Personalunion zwischen beiden Expertentypen antreffen, so zum Beispiel, wenn ein Tragwerksplaner im NA Bau des DIN mitarbeitet.

2. Ingenieurrrationalität und technische Rationalität. Sicherheit als Aspekt der Ingenieurrrationalität

In der Betrachtung von außen werden Ingenieure oft kurzschlüssig als „Techniker“, als Träger und „Anwender“ technisch-wissenschaftlichen Wissens aufgefaßt. Darin liegt eine erhebliche Verkürzung, die von Bedeutung für den praktischen Risiko- und Sicherheitsbegriff der Ingenieure ist, denn deren Risikobegriff ist ein Handlungsbegriff und nicht ein Wissensbegriff. Als technische Rationalität verstehen wir die Anforderung oder die Erfüllung des Kriteriums technischer Effektivität an ein Verfahren oder ein Produkt: eine Pumpe muß pumpen, ein Rauchgasreinigungsverfahren muß die angestrebten Effekte erzielen, ein Spannverfahren im Spannbetonbau oder ein Vorschubgerät für das Taktchieben einer Brücke müssen funktionieren, eine bauliche Struktur muß die geforderten statischen und dynamischen Eigenschaften haben. Diese technische Rationalität ist zwar konstitutiv für Ingenieurrrationalität, macht ihren Kern aus, ist aber dennoch grundsätzlich verschieden von der Rationalität der Ingenieurpraxis. In diesen engen Kreis technischer Rationalität gehören auch die technisch-wissenschaftlichen Operationen im Dienste der Produktion einer Sicherheitsaussage für ein gegebenes technisches Gebilde unter Inanspruchnahme zuvor bereits erfolgter Modellbildungen und unter Verwendung ingenieurwissenschaftlicher Verfahren und sicherheitstheoretischer Konzepte.

Die Ingenieurpraxis, insbesondere im Bereich der Anlagen- und Infrastrukturtechnik, stellt umfassendere Rationalitätsansprüche an den Ingenieur. Dies betrifft zunächst die Integration mehrerer Rationalitätsdimensionen. Die erarbeiteten Lösungen müssen technisch effektiv sein (s. o.), sie müssen in einem sehr umfassenden Sinn rechtlich zulässig und sozial akzeptabel sein, wozu auch die Regelwerkskonformität gehört, und sie müssen schließlich den ökonomischen Kriterien der betrachteten Beteiligten genügen. Sämtliche Rationalitätskriterien gelten jeweils mit Bezug auf Interessen, Motive, Leitbilder der verschiedenen Beteiligten. Bauherren, private oder öffentliche, Lieferfirmen, Baufirmen, staatliche Ordnungsverwaltungen, Ingenieurbüros, kritische Bürgerinitiativen bringen die unterschiedlichsten Rationalitätsansprüche mit dem ihnen jeweils verfügbaren Nachdruck zur Geltung. Ingenieurrrationalität vollzieht sich in der situationsbezogenen Integration dieser Ansprüche. Schon von daher sollte deutlich sein, daß sie sich nicht in technischer Rationalität erschöpft. Vielmehr zeigt sich Ingenieurrrationalität in der Vernünftigkeit des Urteils, mit der es von technischer Rationalität Gebrauch macht.

Der Sicherheitsaspekt, die Sicherheit gegen den Störfall ist je nach Technikart unterschiedlich eng mit der technischen Funktionalität verbunden. Bei einer Brücke zum Beispiel sind technische Funktionalität und Sicherheit in großem Maße deckungsgleich, bei einer Müllverbrennungsanlage ist die Kopplung nicht so eng.

Der zweite Unterschied zwischen Ingenieurrrationalität (zweite Perspektive) und technischer Rationalität (dritte Perspektive) ist ein operativer, der sich aus den Vorbehalten ergibt, unter denen alle Urteile, so auch sicherheitstechnische stehen, und unter den zeitlichen und arbeitsökonomischen Beschränkungen, unter denen sie erarbeitet werden. Kein Urteil, sei es ein technisches, ökonomisches u. s. f. ist „kostenlos“ zu haben. Dieser Umstand war Anfang der 60er Jahre einer der Auslöser der Konstruktionswissenschaft, deren Leitmotiv die Beseitigung des „Engpaß Konstruktion“ war. Urteilsqualität und Urteils-

aufwand müssen also gegeneinander abgewogen werden. Dies ist ein elementarer Bestandteil praktischer Rationalität. Technische Rationalität zehrt von den Rahmenbedingungen, die ihr praktische Ingenieurrrationalität setzt. In rein technisch-rationaler Perspektive kann der Aufwand für die Analyse eines Tragwerks beliebig weit getrieben werden, es gibt hierfür keine sachlogische Obergrenze. Der Aufwand muß durch praktisch verantwortete Entscheidungen zum Aufwandsstopp begrenzt werden. Wir kommen hierauf zurück.

3. Objektentwurf und Sicherheitsaussagen - zwei Aspekte technischer Sicherheit.

Die Praxis der Technikentwicklung umfaßt zwei Komponenten, die in der Tragwerksplanung kurz und knapp als Entwurf und Bemessung bezeichnet werden. Diese zwei Komponenten der Praxis sind sicherheitstechnisch beide von Bedeutung, die Sicherheitstheorie konzentriert sich aber im wesentlichen nur auf die zweite Komponente. Mit dieser Unterscheidung von Objektgestaltung und Objektanalyse sind die zwei grundlegenden Modi der Sicherheitspraxis der Ingenieure verbunden, die Produktion objektiver **Sicherheit** durch Entwurf und Ausführung (Objektgestaltung), sowie die Produktion von **Sicherheitsaussagen** durch Analyse- und Prüfprozeduren (Objektanalyse). Mit einem guten oder schlechten Anlagenentwurf wird wesentlicher Einfluß auf die tatsächliche Sicherheit genommen, mit der anschließend produzierten Sicherheitsaussage legt der Anlagenentwerfer sich und Dritten gegenüber Rechenschaft über den Sicherheitstatbestand ab. Selbstverständlich ist auch die Produktion der Sicherheitsaussagen ein Beitrag zur objektiven Sicherheit, indem ja ein Kreisprozeß zwischen Entwurf und Bemessung stattfindet, aus Ergebnissen von Sicherheitsaussagen gegebenenfalls Konsequenzen für den Anlagenentwurf und die Anlagenauslegung gezogen werden. Mit der getroffenen Unterscheidung soll aber darauf hingewiesen werden, daß im Bereich des Entwurfs (wie auch der Ausführung) Sicherheitspotentiale liegen, die von den sicherheitstheoretisch angeleiteten Sicherheitsaussagen nur partiell erfaßt werden. In Abb. 2 sind die Kategorien und Instrumente schematisch gegenübergestellt, derer sich die Praxis in den beiden sicherheitsbezogenen Handlungsmodi bedient.

Die **objektive Sicherheit** wird durch den Entwurf und die konstruktive Durchbildung der Anlage (später dann durch die Sorgfalt der Ausführung) „erzeugt“. Die Kategorien, in denen diese objektive Sicherheit ex post, also nach Vollendung des Entwurfs, beschrieben werden kann, fungieren ex ante, im Entwurfsprozeß, als Entwurfsregeln und Entwurfsmaximen. Sie sind konstitutiver Bestandteil der Professionellen Normen, an denen Praktiker der Tragwerksplanung ihr Handeln orientieren. Sie sind nicht mechanisch anwendbar, vielmehr ist ihre Anwendung an Professionelle Orientierung, an praktische, situationsgerechte Urteilsfähigkeit gebunden. Eine Auswahl dieser auf objektive Sicherheit zielenden Entwurfsregeln ist in der linken Spalte von Abb. 2 aufgeführt. Dort finden sich die vom Normenausschuß Bau im DIN (NA Bau) empfohlenen Entwurfsregeln zur Erzeugung **robuster** Tragwerke, sowie aus der Sicherheitstechnik des Anlagenbaus bekannte Systemgestaltungsregeln für den Entwurf störungsunempfindlicher Anlagen.

Pötzl hat in mehreren Beiträgen herausgearbeitet, daß zwischen dem im Entwurf liegenden Sicherheitspotential und den durch das bautechnische Regelwerk angeleiteten Sicherheits-

Entwurfs-Regeln,-strategien, zielen auf objektive Sicherheit	Regeln, Instrumente zur Erzeugung der Sicherheitsaussage/der Risiko-Analyse
<p>Entwurfsziel des NA Bau: Robustheit, Unempfindlichkeit. Die Regeln, Elemente sind nicht „mechanisch“ anwendbar, sie sind professionell auf Einzelfall, Kontext zu beziehen und gegeneinander abzuwägen.</p> <p>Robustheitsaspekte: Redundanz, Ausfallsicherheit, stabilisierende Konstruktion, Duktilität, Verformungsfähigkeit, kraftflußorientierte Form, Kompaktheit, Austauschbarkeit, fehlerunanfällige Herstellbarkeit, Anpassungsfähigkeit</p> <p>Systemgestaltungsregeln im Rahmen des Risk-Management (Hoffmann 1986) Redundanz (z. B. 2 aus 3-Auswahl), Diversität, Fail Safe, Ausfallsicherheit, Fehleranzeige, Instandhaltung, Schadentoleranz, langsamer Schadensfortschritt, Bistabilität (keine indifferenten Zwischenzustände)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Modellierung des Systems (Wirklichkeitsnähe) ➤ Modellierung von Einwirkungen und Widerstand, deterministisch oder probabilistisch, hier bei unterscheiden: <ul style="list-style-type: none"> ➤ klassifizierte, standardisierte Einwirkungen unter Einschluß der stochastischen „Ausreißer“ ➤ außergewöhnliche Einwirkungen, deren Eventualität vorhergesehen werden muß (vorhersehen und entscheiden !) ➤ Bestimmung der Abstandsmaße, der globalen oder Teilsicherheitsbeiwerte für die Sicherheitsungleichung ➤ Vordenken/Bestimmen der relevanten Versagensmechanismen, für die Nachweise zu führen sind ➤ Für Risikoanalysen: ➤ Störfallbezogene Systemanalyse ➤ Ausfalleffektanalyse ➤ Störfallablaufanalyse ➤ Fehlerbaumanalyse (Kausalitäten für ein Unfallereignis) ➤ Ereignisbaumanalyse ➤ Detailanalyse der Systemkomponenten ➤ Bestimmung von Wahrscheinlichkeiten ➤ Bestimmung von Schadensarten und Schadensumfängen ➤ Ermittlung der Risiken ➤ Auswertung der Risikoanalyse, Sensitivitätsüberlegungen, Rückkopplungen zum Entwurf, Strategien zur Risikoreduktion ➤ Aufstellung von Gefahrenprofilen

Abb. 2: Faktoren der Sicherheit

aussagen Differenzen liegen. (Pötzl 1996, 1996a, 1999). Die Forschergruppe FOGIB in Stuttgart hat beachtliche Schritte getan, die sicherheitstechnisch relevanten Qualitäten unterschiedlicher Entwürfe von Tragwerken einem rationalen Vergleich zugänglich zu machen. (FOGIB 1997)

Ein Aspekt von Robustheit eines Tragwerks ist zum Beispiel seine Unempfindlichkeit gegenüber lokalem Versagen, das in diesem Fall nicht zum Systemversagen führt. Im Fall eines mehrfeldrigen Brückenträgers bedeutet dies, die Brücke als „Durchlaufträger“ zu entwerfen und nicht als Einfeldträgerkette. Das örtliche Versagen des Balkens bei Überlastung würde im Fall der Einfeldträgerkette zum Einsturz des betreffenden Feldes führen, im Falle des Durchlaufträgers nicht. Dennoch versteht sich die Wahl der Durchlaufträgerlösung nicht von selbst; zum Beispiel dann nicht, wenn der Baugrund größere Setzungsdifferenzen der Brückenfundamente erwarten läßt, in welchem Falle der Brückenträger gerade als Einfeldträgerkette robuster wäre. Die Relevanz dieses Abwägungserfordernisses in bezug auf den Entwurf von Brückenträgern ersieht man an den Brücken der Neubaustrecke Hannover-Würzburg der Deutschen Bahn. Dort finden sich je nach den Umständen entweder Durchlaufträger oder Einfeldträgerketten. Robustheitsregeln entziehen sich somit einer mechanischen Anwendung; sie können in Recht und Regelwerk - wenn überhaupt - nur in hoch abstrakter Form Aufnahme finden, so daß ein weiter Spielraum für eine professionelle, situationsbezogene Umsetzung offenbleiben muß und einer rechtlichen Sanktionierung der Verletzung dieser Entwurfsregeln Grenzen gesetzt sind.

In der Sicherheitskommunikation zwischen den Baubeteiligten, so zwischen dem Antragsteller einer Baugenehmigung und der Genehmigungsbehörde, bilden **Sicherheitsaussagen** das zentrale Kommunikationsmedium. Diese Sicherheitsaussagen unterscheiden sich nach der vorliegenden Technik (zum Beispiel Brücke oder Müllheizkraftwerk oder Kläranlage), sie unterscheiden sich nach dem Schadenspotential der Anlage, nach den rechtlichen Anforderungen an die Aussage, und nach der Phase im Prozeß der Anlagenentstehung, zum Beispiel Genehmigungsverfahren oder Inbetriebnahme. Wesentliche Elemente zur Produktion von Sicherheitsaussagen sind in der rechten Spalte von Abb. 2 verzeichnet. Diese Elemente, zumeist Kurzformeln für Handlungen, lassen erkennen, daß die Produktion von Sicherheitsaussagen erneut gestalterische, kreative und nicht nur analytisch-diagnostische Akte enthält, so zum Beispiel das Vordenken von Versagensmechanismen, das Entwerfen von Ereignisbäumen u. s. f. Ohne einen Versagensmechanismus vorhergesehen zu haben, kann auch keine Sicherheitsaussage in bezug hierauf gemacht werden. Dies haben Ingenieure in der Geschichte des konstruktiven Ingenieurbaus immer wieder feststellen müssen.

Die Ingenieur- und Rechtspraxis bedient sich für **Sicherheitsaussagen** unterschiedlicher Formen. Für bauliche Anlagen, für die im Zusammenhang von Bauantrag und Baugenehmigung der Nachweis der Standsicherheit des Tragwerks der Anlage gefordert wird, ist die sogenannte statische Berechnung die eingeführte Form der Sicherheitsaussage. Eine statische Berechnung (für ein ganzes Tragwerk oder für Tragwerksteile) unterliegt mathematisch-physikalischen Wahrheitskriterien und pragmatischen Richtigkeitskriterien. Diese Richtigkeitskriterien sind Bestandteil professioneller Normen. Zwischen ingenieurwissenschaftlichen Wahrheitskriterien und professionellen Richtigkeitskriterien besteht eine kategoriale Differenz.

Das Zusammenspiel von Gestaltung und Analyse, von Entwurf und Bemessung, von Produktion objektiver Sicherheit und von Sicherheitsaussage unter Einbeziehung der für diese Praxiselemente erforderlichen formalen Operationen ist im „Zwei-Ebenen-Modell

der Bauingenieurpraxis“ zusammenfassend dargestellt (Abb. 3). Die eigentliche Praxis ist durch die erste Ebene gekennzeichnet, sowohl durch das interne Wechselspiel zwischen Gestaltung und Analyse, als auch durch die Interaktion mit den übrigen Beteiligten und durch Bezugnahme auf den Anlagenkontext. Dies ist die eigentliche professionelle Ebene. Dann allerdings ist die zweite, die operative Ebene zu betrachten, deren Ausgestaltung sich in den zurückliegenden Jahrzehnten stark verändert hat. Die EDV hat hier nicht nur die Arbeitsproduktivität gesteigert, sondern dem Einsatz wissenschaftlich und sicherheitstheoretisch anspruchsvollerer Ansätze das Tor geöffnet. Aufgrund der nun beherrschbaren anspruchsvolleren Verfahren gewinnt das eigentlich professionelle Handeln auf der Praxisebene (Ebene 1) immer neue Qualität, das Wechselspiel von Risikosetzen und Sicherheitsstrategie wird immer subtiler. Die operative Ebene hat also nicht nur eine abgeleitete, dienend-instrumentelle Funktion für die eigentliche, immer gleich bleibende Praxis, sondern sie bildet aufgrund ihrer Verwissenschaftlichung und Technisierung (durch EDV) einen dynamischen Faktor der ganzen Praxis, insofern sie dieser Praxis die Behandlung immer subtilerer Fragestellungen eröffnet. Weil diese Dynamik immer wieder neue Unvertrautheiten stiftet und sicherheitsrelevante Erfahrungen veralten läßt, ergibt sich ein ambivalentes Verhältnis zwischen Fortschritt im Wissen und Prozeß der Sicherheitsgewährleistung. Wissenszuwachs trägt zum Potential der Sicherheitsgewährleistung und zugleich zu Unvertrautheiten und damit zum Risiko bei.

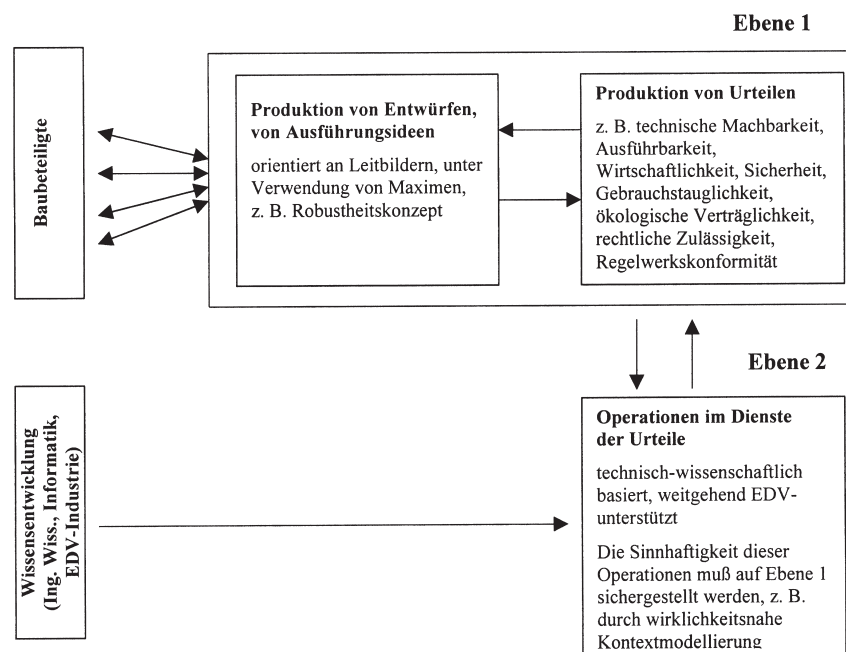


Abb. 3: Zwei-Ebenen-Modell der Bauingenieurpraxis

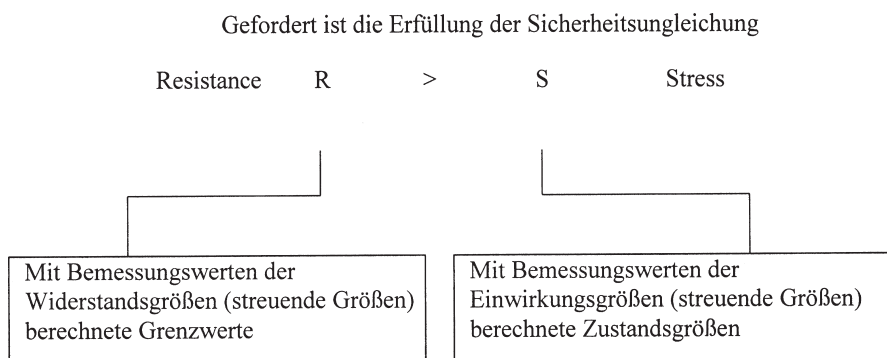
Der Sinn bestimmter Operationen auf der zweiten Ebene, die Aussagefähigkeit deren Ergebnisse wird auf der Ebene des professionellen Urteils und der professionellen Praxis bestimmt. Insbesondere die Herstellung des Kontextbezugs einer Tragwerksplanung und die Beurteilung des Geltungsanspruchs des Regelwerks für die vorliegende Planungsaufgabe obliegen professionellem Handeln und Urteilen. Beim Standsicherheitsnachweis, dem hier gewählten Beispiel, bildet sich die Unterscheidung von professioneller Urteilebene und wissenschaftlich-technischer Operationenebene folgendermaßen ab: Das gegebene Tragwerk und sein Kontext müssen modelliert werden, mögliche Versagensmechanismen müssen vorhergesehen und sachangemessene Berechnungsverfahren ausgewählt werden. Nach Durchführung von Berechnungsoperationen müssen die Ergebnisse interpretiert und auf das Tragwerk bezogen werden, gegebenenfalls mit der Konsequenz einer Modifikation des Tragwerksentwurfs. Alle diese Urteile sind nicht nur in bezug auf ein Objekt, ein Tragwerk oder eine Anlage zu fällen, sondern auch *für* andere Akteure in der Projektorganisation, die diese Urteile erwarten, in Auftrag gegeben haben oder aus ihnen Konsequenzen ziehen wollen, so insbesondere auch für Genehmigungsbehörden. Alle diese Handlungen sind „richtig“, „angemessen“ etc. oder nicht, sie sind aber nicht wahr oder falsch. Im Dienste dieser Urteile und praktischen Handlungen werden Berechnungen auf mathematisch-physikalischer Grundlage durchgeführt - nach den Regeln der Baustatik (Ebene 2). Ob diese Operationen überhaupt sinnvoll und ihre Ergebnisse praktisch relevant sind, kann nur auf der praktischen Urteilebene beurteilt werden (Ebene 1). Auf der Operationenebene kann und muß allerdings geprüft werden, ob die Berechnungsergebnisse wahr oder falsch sind, ob zum Beispiel das Gleichgewicht der Kräfte innerhalb des modellierten Systems gewahrt ist. Auf der Ebene 1 haben wir es mit praktischem Handeln, mit „Praxis“ im emphatischen Sinn zu tun. Rationalität ist hier im umfassenden Sinn von Ingenieur rationalität gefragt. Auf der Ebene 2 dagegen haben wir es mit einer der praktischen Sinngebung bedürftigen technischen Rationalität zu tun.

Diese Unterscheidung von praktischem Urteil und mathematisch-physikalischer Operation gilt es bei der Bezugnahme des Rechts auf technische Expertise zu bedenken. Das Recht bezieht sich seinem eigenen Verständnis nach auf praktische Urteile von Praktikern über die Sicherheit von Anlagen, nicht auf Aussagen dieser Praktiker zur technisch-wissenschaftlichen Qualität einzelner Operationen. Wenn das Technikrecht für bestimmte Anlagen die Berücksichtigung des Standes der Wissenschaft oder des Standes der Technik fordert, dann ist dies in bezug auf unsere Zwei-Ebenen-Unterscheidung eine elliptische Forderung (elliptische Forderung bedeutet: sie enthält nur die Hauptforderungen, die für das Verständnis entbehrlichen Teile sind ausgelassen), insofern Urteilen von Praktikern keine dieser Qualitäten (Stand der Wissenschaft etc.) zukommen kann, das wäre kategorial falsch.

4. Sicherheitsaussagen und Sicherheitstheorie.

Für die Produktion von Sicherheit sind Entwurf und Bemessung gleichermaßen bedeutsam. Die Sicherheitstheorie und das Regelwerk, ob herkömmlich oder modern, konzentrieren sich auf die Bemessung und damit auf die Produktion von Sicherheitsaussagen. Baustatische Berechnungen sind der konkrete Ausdruck einer prinzipiellen Sicherheits-

ungleichung, nach der der Widerstand eines Tragwerks größer als die Beanspruchungen aus Einwirkungen sein muß, mit der Nebenbedingung eines gehörigen Abstandsmaßes, so daß die Versagenswahrscheinlichkeit genügend klein ist (s. Abb. 4). „Sicher“ ist ein Tragwerk, wenn dies der Fall ist. In bezug auf dieses grundsätzliche Konzept besteht kein Unterschied zwischen konventioneller und moderner Sicherheitstheorie. Insbesondere besteht die Gemeinsamkeit darin, daß diese Aussagen kein Risikokalkül i. e. S. enthalten.¹ Sie sind zwar am Begriff des Risikos insofern orientiert, als die Anforderungen an die Versagenswahrscheinlichkeit steigen mit den auf dem Spiel stehenden materiellen und politisch-legitimatorischen Schadenswerten, Risikokalküle werden aber nicht angestellt. Wenn im Zusammenhang mit dem gewählten Maß der in Kauf genommenen Versagenswahrscheinlichkeit von einem in Kauf genommenen Restrisiko die Rede ist (vgl. Schneider 1996, S. 17), dann bedeutet dies nicht, daß dieser Aussage ein Risikokalkül im strengen Sinn zugrunde liegt. Risiko als regulative Idee steht hinter der verantworteten Wahl des Abstandsmaßes zwischen den beiden Verteilungen von Einwirkungen und Widerstand.



Bemessungswerte (gem. DIN 18800): diejenigen Werte der Widerstandsgrößen und Einwirkungsgrößen, die für die Nachweise anzunehmen sind. Sie beschreiben einen Fall ungünstiger Einwirkungen auf Tragwerke mit ungünstigen Eigenschaften. Ungünstige Fälle sind in der Realität nur mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit zu erwarten (Restrisiko).

Bemessungswerte mit Teilsicherheitsbeiwerten aus den charakteristischen Werten ermitteln (95 % Fraktile und 5 % Fraktile).

Teilsicherheitsbeiwerte für:

Gebrauchstauglichkeit i. d. R. 1,0

Tragsicherheit > 1,0 (je nach Sicherheitsklasse)

Abb. 4: Nachweis der Tragsicherheit im konstruktiven Ingenieurbau²

¹ Risikokalkül i. e. S. soll hier die Ermittlung des Produkts aus Eintrittswahrscheinlichkeiten eines Ereignisses und dem Wert des aus dem Ereignis folgenden Schadens heißen

² Rekonstruiert gemäß Scheer/Pasternak/Hofmeister 1994

Die Modernität der modernen Sicherheitstheorie im konstruktiven Ingenieurbau verdankt sich wirklichkeitsnäheren Versagensmodellen, wirklichkeitsnäherer Systemmodellierung und damit der besseren Beschreibung von Einwirkungs-Widerstands-Interaktionen, einer auf besserer Datenlage fußenden probabilistischen Beschreibung von Einwirkungs- und Widerstandsgrößen und einer differenzierten Absicherung gegenüber bestimmten Einwirkungen (Teilsicherheitsbeiwerte und Kombinationsfaktoren) (vgl. Harries 1999). Kein Unterschied zur konventionellen Sicherheitskonzeption ergibt sich jedoch in bezug auf den Sicherheitsbeitrag des Anlagenentwurfs und der jeweils aktuellen praktischen Kontextuierung der Sicherheitsaussage - der Übergang zwischen Sicherheitsaussage und Anlagenrealität bleibt an professionelle Leistungen und Urteilsfähigkeit gebunden, die Sicherheitstheorie unterbelichtet die „objektive“ Anlagensicherheit, sofern sich diese dem Entwurf und der Ausführung verdankt. Die Modernität der Sicherheitskonzeption besteht damit ausschließlich in der Modernität der Generierung der Sicherheitsaussage.

Ein markantes Beispiel für den notwendigen Beitrag professioneller Urteilsfähigkeit bei der Erzeugung von Sicherheitsaussagen betrifft die sogenannten außergewöhnlichen Einwirkungen. Ungewißheit bei den Einwirkungen besteht nicht nur in bezug auf die stochastischen „Ausreißer“ im Rahmen klassifizierter, standardisierter Einwirkungen in Gestalt von Verkehrslasten, Wind etc. (Lastfälle), sondern in bezug auf jene Ereignisse, die sich in ihrer unendlichen Mannigfaltigkeit nicht klassifizieren lassen und für die deshalb auch keine Auftretenswahrscheinlichkeiten ermittelt werden können. In nichtgezügelter Phantasie lassen sich stets Einwirkungen auf Tragwerke vorstellen, anhand derer diese „kaputtgerechnet“ werden können, zum Beispiel im Falle von Gebäuden an Ortsdurchfahrten von Bundesstraßen. Tragwerksplaner pflegen diese Probleme in Absprache mit dem Prüfeningenieur „ingenieurmäßig“ zu lösen, also praktisch vernünftige Annahmen für die Einwirkungen zu treffen. Einen modernen Versuch, auch diesen Bereich des Ungewissen noch in standardisierter Form zu fassen, bildet der Teil 2.7 von Eurocode 1 (ENV-1991-2-7), „Actions on structures - Accidental actions due to impact and explosions“. Auch in anderen Normen finden sich Hinweise zu „außergewöhnlichen Einwirkungen“. Am verantworteten persönlichen Urteil des Tragwerksplaners führt aber kein Weg vorbei.

Eine andere Form der Sicherheitsaussage bilden sogenannte **Sicherheitsanalysen**, wie sie für Industrieanlagen nach § 7 der 12.BImSchV vorgeschrieben sind. Hier handelt es sich um „oberhalb“ detaillierter Berechnungen geforderte argumentative Beurteilungen des Anlagenentwurfs insbesondere im Blick auf Systemgestaltungsregeln wie Redundanz, Fail Safe, Diversität. Diese Sicherheitsanalysen haben den Charakter der Objektivierung einer Prüfprozedur in Bezug auf Anlagenkonzeption, Entwurf, Konstruktion. Prüfmaßstab bilden sicherheitssteigernde Anlageneigenschaften. Von einem Risikokalkül i. e. S. ist auch hierbei nicht die Rede.

Schließlich gibt es auch Sicherheitsaussagen im Sinne regelrechter **Risikoanalysen**, wie sie bei Kernenergieanlagen vorgeschrieben sind. Klingmüller/Bourgund (1992) haben gezeigt, inwieweit derartige Risikoanalysen i. e. S. auch im konstruktiven Ingenieurbau Anwendung finden. Risikoanalysen in diesem strikten Sinn fußen auf dem Entwurf von Versagenszenarien, auf zuverlässigem, auf das entsprechende Szenario bezogenem, validem Datenmaterial für eine probabilistische Beschreibung von Einwirkung und Widerstand,

sowie auf Schadenswertbestimmungen, die rechtlichen und politisch-legitimatorischen Anforderungen genügen. Ungeachtet dieser anscheinend strikten Voraussetzungen bleibt die Validität dieser speziellen Risikoanalysen ebenso wie die der Sicherheitsanalysen allgemein an professionelle, gestalterische Leistungen der Personen gebunden, die diese Analysen anstellen.

In den bisherigen Ausführungen ging es stets um *Sicherheitsaussagen* als zentralem Medium der Sicherheitskommunikation zwischen den Baubeteiligten. Der Terminus „Sicherheitsaussage“ bildet sowohl begrifflich wie auch in seiner operativen Bedeutung einen Gegenbegriff zur Idee der objektiven Sicherheit, auf die die Entwurfs- und Ausführungspraxis zielt. Wir haben drei Formen von Sicherheitsaussagen erläutert: Baustatische Sicherheitsnachweise, Sicherheitsanalysen für Anlagen gemäß der 12.BImSchV, sowie Risikoanalysen im engeren Sinn.

Das Festhalten an der Kategorie der objektiven Sicherheit kann nicht durch den erkenntniskritischen Hinweis ausgehebelt werden, daß die Verständigung über die Wirklichkeit stets an Aussagen gebunden bleibt. Das wirklichkeitsbezogene Festhalten am Begriff der objektiven Sicherheit bietet die Basis für kritische Vorbehalte gegenüber Sicherheitsaussagen, insofern deren Wirklichkeitsnähe und Triftigkeit von vielen Voraussetzungen abhängt, auf die durch die Praxis Einfluß genommen werden kann. Ein professionell handelnder Prüfsachverständiger für Baustatik wird in diesem Sinn nicht nur die interne Korrektheit (Wahrheit) der ihm vorgelegten Statik prüfen, sondern auch die dieser Statik zugrundeliegenden Annahmen, Modellbildungsleistungen (Kontextuierung). Nur informell wird er allerdings im gegebenen Fall dem „Aufsteller“ gegenüber den Entwurf des Tragwerks kritisch kommentieren. Die Sicherheitsaussage ist wesentliches Koppelglied zwischen Technik und Recht, zwischen den Baubeteiligten in den Rollen von Antragstellern und Genehmigungsbehörden u. s. f. Die Sicherheitsaussage macht technische Rationalität anschlussfähig für das Recht. Aber nicht an diesen Sicherheitsaussagen selber, sondern an der objektiven Sicherheit haben alle Beteiligten ein Interesse.

In einem der Grundlagendokumente der modernen Sicherheitstheorie, den „Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen“ [GRUSI BAU 1981] ist die Unterscheidung von objektorientierten „Maßnahmen“ und aussageorientierten Analysekonzepten vorgezeichnet. Die GRUSI BAU ist in diesem Sinne in „Maßnahmen“ und „Entwurfsregeln“ (Kapitel 3 und 4) und in „Grundlagen für die Bemessung“ sowie „Nachweisverfahren mit Hilfe von Teilsicherheitsbeiwerten“ (Kapitel 5 und 6) gegliedert. Hier zeigt sich auch für den Bereich des konstruktiven Ingenieurbaus, daß die Sicherheitstheorie nur den Bemessungsprozeß, also die Produktion von Sicherheitsaussagen, nicht aber den Entwurfsprozeß fundiert (s. u.). Nicht nur sind Technik und Recht, Ingenieurpraxis und Rechtspraxis ganz wesentlich über Sicherheitsaussagen gekoppelt, sondern es kommt hinzu, daß dieses Koppelstück ingenieurwissenschaftlich fundiert ist. Dies koinzidiert mit der Vorstellung des Rechts vom Gleichschritt wissenschaftlichen Fortschritts und Zuwachs an Rechtsgüterschutz. Die Erschließung von Sicherheitspotentialen durch Entwurfspraxis bleibt professioneller Orientierung anheimgestellt. In jüngerer Zeit sind Anstrengungen unternommen worden, den Entwurfsprozeß und dessen Regeln sowie die Kategorien zur Beschreibung von Ingenieurbauten zu objektivieren (FOGIB-Studie,

FOGIB-Arbeitsgruppe an der TU Stuttgart). Diese Regeln und Kategorien sind geeignet, alternative Objekt- und Tragwerksentwürfe (zum Beispiel in Wettbewerben) zu vergleichen und dies auch in bezug auf sicherheitsrelevante Kategorien wie die der Robustheit. An der Offenheit von Entwurfssituationen, an der Konstitutionsbedürftigkeit von Entwurfsproblemen ändern diese zweifellosen Fortschritte jedoch nichts.

5. Die Sachlogik der Technikentwicklung – Eingriffspunkte für die Sicherheitsgewährleistung

Ziel des Beitrags ist es, Sicherheitsgewährleistung als einen Aspekt der umfassenden Ingenieurpraxis darzustellen, und nicht nur als ein ingenieurwissenschaftliches Konzept zur Erzeugung von Sicherheitsaussagen. Dieser Praxis liegt eine Sachlogik zugrunde, derer man sich vergewissern muß, wenn man eine wirklichkeitsnahe Vorstellung davon gewinnen will, wie Sicherheit praktisch gewährleistet wird. Diese Sachlogik ist in den zurückliegenden vier Jahrzehnten vielfach untersucht worden, so im Maschinenbau und im Bauingenieurwesen; darauf kann hier nur verwiesen werden.³ Hier werden nur einige Hinweise gegeben, aus denen ersehen werden kann, in welchem großem Umfang der sicherheitstheoretische Beitrag zur Sicherheit eingebettet ist in professionelle Leistungen der Praktiker, die entweder einen eigenständigen Beitrag zur objektiven Sicherheit bieten oder als notwendige Voraussetzung der Erzeugung von Sicherheitsaussagen vorausgehen.

(1) **Konstitutionserfordernis und unvollständige Definition von Entwurfsproblemen.** Im Abschnitt 3 wurde auf die Bedeutung des Entwurfs für die objektive Sicherheit hingewiesen. Der Entwurf bildet die Lösung eines Problems, das zu Beginn der Projektbearbeitung oft nur sehr vage und unvollständig definiert ist. Durch die Beteiligung an der Problemdefinition und durch die Erarbeitung von Lösungsoptionen kann ein großer Beitrag zur späteren Bauwerks- oder Anlagensicherheit geleistet werden. Auch in relativ späten Phasen der Geschichte von Infrastrukturprojekten, zum Beispiel von Brücken, werden noch Beiträge zur Problemdefinition und Problemlösung fällig, zum Beispiel bei der technischen Angebotsbearbeitung auf Ausschreibungen anhand von Sondervorschlägen (vgl. Kinkel 1999). Im späteren Sicherheitsnachweis wird der schließlich ausgewählten Lösung Regelkonformität bescheinigt, aber diese Bescheinigung schließt nicht den Vergleich mit einer möglichen alternativen Lösung ein, die zum Beispiel unter Robustheitskriterien viel günstiger wäre. Sicherheit ist also abhängig davon, wieviel tragwerksplanerischer Aufwand gerade in den frühen Phasen der Projektbearbeitung geleistet wird. In diesem Sinn ist auch der um sich greifende Preiswettbewerb auf dem Planungsmarkt, die Aushebelung der HOAI, ein Vorgang, der zwar nicht zur Verletzung von Sicherheitsanforderungen, aber zur Nichtausschöpfung von Sicherheitspotentialen führt. (Ekardt 1996)

(2) **Erfordernis von Modellbildungsleistungen.** Die Beurteilung der Eigenschaften eines entworfenen Objekts setzt dessen Modellierung voraus. Das System im ganzen,

³ Hingewiesen sei auf Schwarz (1977), Mühlshwein (1979), Ekardt (1978), Pahl/Beitz (1977), Mackensen (1997).

seine Details, seine Kontextbeziehungen, das Materialverhalten, die Lagerungsbedingungen, das Systemverhalten, seine Versagensmechanismen, Störfallabläufe bedürfen der Modellierung. Von der Modellierung hängt der Analyseaufwand ab; der Anspruch an die Wirklichkeitsnähe und Aussagefähigkeit der Analysen bestimmt den Modellierungsaufwand; die Grenzen der Modellierung sind durch die verfügbaren Analyseverfahren gesetzt. Die parallele Entwicklung in Ingenieurwissenschaften und Technik der Datenverarbeitung haben die Modellierungs- und Analysegrenzen stark verändert im Sinne fortschreitender Wirklichkeitsnähe und Validität der Analysen. Die Analyseprozesse sind in umso größerem Maße von kreativen Handlungen abhängig, je größer das technisch-wissenschaftliche Analysepotential ausgeweitet wird. Die objektiven Möglichkeiten der Produktion von Sicherheitsaussagen steigen im gleichen Maße wie die Möglichkeiten von Versäumnissen, Fehlern, Unterlassungen. Sind bestimmte Versagensmechanismen überhaupt nicht ins Auge gefaßt worden, kann eine hierauf bezogene Sicherheitsaussage nicht produziert werden. Kollektive Überzeugungen können - wie die Erfahrung mit Schadensfällen lehrt - auch über einen technisch-wissenschaftlichen Entwicklungsstand hinaus weiterhin Geltung haben, ein Schadensfall und dessen Analyse werden dann zum Auslöser und zur Triebkraft der Verbreitung und des Ernstnehmens eines Wissens, das schon vorgelegen hat, etwa in Tagungsberichten, Fachaufsätzen, eventuell sogar in Hinweisen in Normblättern, die bis dahin „übersehen“ worden sind. (Vgl. hierzu Ekardt 1998)

(3) Die **Zerlegung von Entwurfsaufgaben** ist bei Infrastrukturprojekten aus mehreren parallel geltenden Gründen erforderlich und stiftet anschließend Probleme der Verträglichkeit der erarbeiteten Teillösungen. Gründe der Zerlegung sind die schiere Größe der Anlagen, die eine kompakte Analyse im Ganzen, in einem Zugriff auch dann ausschließen, wenn der Bearbeiter umfassend qualifiziert wäre, beliebig viel Zeit zur Bearbeitung erhielte und die Arbeitsproduktivität keine Rolle spielte. Die parallele Bearbeitung von Teilproblemen oder Subsystemen, deren Ergebnisse an den Schnittstellen einander voraussetzen, stiftet sicherheitsrelevante Abstimmungserfordernisse. Die Abstimmungsdefizite an diesen Schnittstellen werden durch keine Sicherheitsaussage erfaßt. Sie gehören häufig zu den Faktoren von Schadensfällen (vgl. Ekardt 1998 und 1996a).

(4) **Phasenstruktur und zirkuläre Abfolgemuster.** Die Planung und der Entwurf großer technischer Anlagen vollziehen sich in aufeinander folgenden Phasen, zwischen denen charakteristische Abfolgebeziehungen bestehen. Dieser sachlogische Tatbestand ist von allen oben (Fn 4) erwähnten Theorieansätzen einhellig herausgearbeitet worden. Für den Bereich des Maschinenbaus hat der VDI diesen Tatbestand sogar in mehreren Richtlinien präskriptiv erhärtet, so zum Beispiel in der VDI-Richtlinie 2222.⁴ Im Bereich des Bauwesens hat diese Phasenabfolge ihren Niederschlag in den Leistungsbildern der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) gefunden. Für den Prozeß der Sicherheitsgewährleistung sind diese Phasengliederung als solche und die tatsächlichen Abfolgemuster zwischen den Phasen von großem Belang, insbesondere auch für die Vorstellungen des Rechts von diesen Abfolgen. Für die rechtliche Eröffnungskontrolle (z. B. Baugeneh-

⁴ VDI Richtlinie 2222, Blatt 1, Konstruktionsmethodik. Konzipieren technischer Produkte.

Phasen (Beispiel)	Haupt-Akteure
Nutzungsplanung Funktionsplanung	Bauträger/Bauherr selber oder durch beauftragtes Büro
Anlagenentwurf/Entwurfsplanung Genehmigungsplanung, Bemessung auf strategisch wichtige Bereiche beschränkt	meist durch Ingenieurbüros im Auftrag des Bauträgers
Genehmigung 1	Behörde(n)
Ausschreibung, Angebot, Vergabe (Vertrag)	Bauträger + Ingenieurbüro Baufirma/ARGE, evtl. m. Ing.büro
Ausführungsplanung, Berechnung, Bemessung/Dimensionierung/ Auslegung im Detail	Baufirmen, Lieferfirmen evtl. mit Ingenieurbüro
Genehmigung 2	Behörde(n)
Herstellung (im Werk) Errichtung (Baustelle)	Lieferfirmen Baufirmen
Abnahme, Inbetriebnahme	Betreiber/Behörde(n)

Abb. 5: Phasen der Anlagenplanung, des Anlagenbaus

migung) ist der Detaillierungsgrad der Planung und der bis dahin erzeugten Sicherheitsaussagen oft nicht ausreichend, um eine „rechtliche Risikosteuerung“ zu ermöglichen (vgl. Roßnagel 1999, Neuser/Pottschmidt 1999).

Eine Reihe sachlogischer Faktoren führen dazu, daß sich zirkuläre Abfolgen zwischen den Phasen herausbilden. Der wichtigste Faktor ist die unter (1) erläuterte unvollständige und unscharfe Problemstellung. In sachlogisch „späten“ Phasen stellt sich heraus, daß Annahmen, Vorgaben, Setzungen aus frühen Phasen nicht aufrechterhalten werden können. Je vertrauter die Entwurfsaufgabe und je größer die Erfahrung der Bearbeiter, um so eher gelingt eine faktische Linearisierung der Phasenabfolge. Umgekehrt tragen eine größere innere Komplexität der Anlage und komplexe und kontingente Beziehungen zum Anlagenkontext zu stärkerer Zirkularität bei. Aus der Abb. 5 ist zu entnehmen, daß in den verschiedenen Phasen unterschiedliche Akteure aus dem Netzwerk der Baubeteiligten tätig sind, die Bauträger in den frühen Phasen, die Errichter in den späten. Schließlich ist aus Abb. 6 zu entnehmen, daß professionelle Normen, Regelwerk und Recht in jeweils spezifischen Phasen steuernden Einfluß auszuüben vermögen.

		Nutzungs- planung	Anlagen- entwurf	Bemessung, Auslegung, Dimensionierung	Geneh- migung Prüfung	Errichtung Ausführg. + Planung derselben
		Bausträger	Berat. Ing.		Behörde/ Prüfer/ Gutachter	Firmen
Profess. Normen	B		X X X	XX	X	
	MVA		X X X	XX	X	
	ARA		X X X	XX	X	
Regel- werk	B		X X	X X X	XXX	XX
	MVA		X X	X X X	XXX	XX
	ARA		X X	X X X	XXX	XX
Recht	B				X	X
	MVA	X X (X)		X X	X X X	X
	ARA	X X (X)		X X	X X X	X

- 1) Legende: B: Brücken; MVA: Müllverbrennungsanlagen; ARA: Abwasserreinigungsanlagen. Die angelegten Felder bezeichnen die Haupteingriffsbereiche der Steuerungsmedien
 2) Die Anordnung und die Anzahl der X zeigt an, in welchen Phasen der Anlageentwicklung die drei Steuerungsmedien Professionelle Normen, Regelwerk, Recht welchen Intensitätsgrad des Einflusses erreichen.

Abb. 6: Einfluß der Steuerungsmedien in den Projektphasen

Abbildung 7 ist zu entnehmen, daß auf die sogenannte objektive Sicherheit, die faktische Standsicherheit eines Tragwerks beispielsweise, durch den Entwurf und durch die Ausführung Einfluß genommen werden kann, daß dagegen die Sicherheitsaussage in der Sicherheits- und Risikoanalyse produziert wird. Unzureichende Ergebnisse der Sicherheitsaussage geben dann Anlaß zur Rückkehr in die Entwurfsphase, um den Anlagenentwurf zu modifizieren.

6. Technikentwicklung durch Projekte – *experimentelle Praxis mit evolutionärem Risiko.*

Nach der in diesem Beitrag vorgetragenen Auffassung ist der Risikobegriff der Ingenieure ein Handlungsbegriff, ein Begriff der Praxis. Der davon zu unterscheidende technisch-wissenschaftliche Begriff bildet allerdings den technischen Kern des umfassenden praktischen Risikobegriffs, und es wurde dargestellt, daß die durch die Entwicklung von Wissenschaft und EDV angestoßenen Verfeinerungen des technisch-wissenschaftlichen

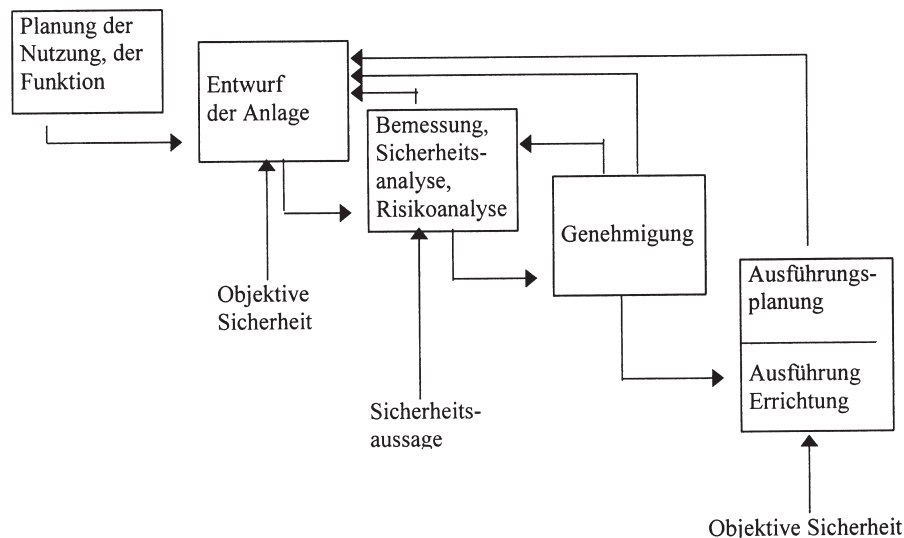


Abb. 7: Phasen der Anlagengenesse und Einfluß auf die Sicherheit/das Risiko

Kerns auch ausstrahlen auf den umfassenden Risikobegriff, denn die neuen ingenieurwissenschaftlichen Potentiale erlauben es der Praxis, anspruchsvollere, wirklichkeitsnähere, wirtschaftlichere Problemstellungen und Problemlösungen zu bearbeiten. Für einen Risikobegriff als wirklichkeitsnahen Praxisbegriff ist nun aber erforderlich, die konkreten Umstände der Entwicklung und Ausbreitung von Technik zu berücksichtigen. Diese Umstände unterscheiden sich je nach Technikbereich in starkem Maße; die hier vorgetragenen Überlegungen beziehen sich auf den Bereich der Anlagen- und Infrastrukturtechnik.

Für diesen Bereich der Anlagen- und Infrastrukturtechnik gelten neben vielen anderen zwei Aspekte, die von besonderer Bedeutung für den Prozeß der Sicherheitsgewährleistung sind, die enge Kopplung der *Innovation*, der Wissensrevolution mit der Technikausbreitung in realen Projekten und, völlig unabhängig vom Gesichtspunkt der Innovativität, das Erfordernis der Einfügung der neuen Anlagen in konkrete Kontexte, in die bestehende technische Infrastruktur, in soziale und ökologische *Kontexte*. Unter den beiden genannten Aspekten unterscheidet sich Technikentwicklung im Infrastrukturbereich so sehr von der Entwicklung in anderen einschlägigen Bereichen wie Produktionstechnik, Haushaltstechnik u. s. f., daß hierfür der Terminus „*Technikentwicklung durch Projekte*“ gerechtfertigt erscheint. Es handelt sich um Projekte, die ein technisches Unikat zum Ziel haben, das in einen spezifischen Kontext einzufügen ist und bei dem häufig in geringerem oder größerem Umfang Neuerungen im Bereich von Werkstoffen, Bauteilen, Fertigungsverfahren eingesetzt werden. Die Projektbearbeitung beginnt, wie im Abschnitt 5 beschrieben, mit der Problemkonstitution, sie ist keineswegs nur Problemlösung unter routinedhafter Anwendung ingenieurwissenschaftlicher Instrumente. Die Notwendigkeit der Einbettung in

einen infrastrukturellen und ökologischen Kontext hat zur Folge, daß das Handeln aller Beteiligten unter der Bedingung der Ungewißheit steht, der Wissensvorbehalte, der Begrenzung der kognitiven Beherrschung der Anlagenkomplexität, der beschränkten Aneignung des Anlagenkontextes und der unvollständigen Beschreibung der Beziehungen zwischen der Anlage und ihrem Kontext.

Im Unterschied zu Innovations- und Entwicklungsprozessen in vielen anderen Bereichen, die in abgeschirmten, dem Ernstfall noch enthobenen Labors stattfinden, verschmelzen in unserem Bereich Forschung, Erfindung, Entwicklung, Ausbreitung, Anwendung. Dieses „Verschmelzen“ des Innovationsmoments zusammen mit der zirkulären Beziehung zwischen Problemkonstitution und Problemlösung und dem Kontextuierungserfordernis sind der Anlaß dafür, die „**Technikentwicklung durch Projekte**“ als „**experimentelle Praxis**“, verbunden mit „**evolutionärem Risiko**“ zu kennzeichnen (vgl. Krohn/Krücken 1993, Krohn 1997). Schadensfälle erinnern immer wieder daran, daß der mit der Projektdurchführung verbundene, stetige, oft unmerkliche Neuerungsprozeß uns aus dem Geltungsbereich bisheriger Überzeugungen, Leitbilder, Technischer Regeln, Verfahren, Vorstellungen von Versagensmechanismen herauswachsen läßt, daß wir langfristige Wirkungen technischer Lösungen nur unzureichend überblicken. Wir lernen Risiken kennen, indem wir sie eingehen, „evolutionäre Risiken“. Diese evolutionäre Offenheit, die mit der Ausbreitung und Entwicklung technischer Infrastrukturen verbunden ist, mit der Komplexitätszunahme der bestehenden, ständig aufgestockten und zusätzlich vernetzten Infrastruktur, verletzt die idealen Randbedingungen, die dem ingenieurwissenschaftlichen Kern des Risikobegriffs zugrunde liegen. Technikentwicklung ist Praxis im emphatischen Sinn, sie erfordert das „innere Auge“ des Ingenieurs (Ferguson 1993), die gedankliche Vorwegnahme der Komplexitätszunahme des immer schon Dagewesenen, und sie erfordert die Verantwortungsübernahme für all die Wissensvorbehalte, Geltungsvorbehalte, die mit dieser eingreifenden Praxis verbunden sind.

Diese Sachverhalte verweisen darauf, daß die mit der Infrastrukturentwicklung verbundenen Risiken ein Zusammenspiel zwischen Bau-, Planungs- und Umweltrecht, Technischem Regelwerk und professionellem verantwortlichen Handeln erfordern. Eine staatliche Technik- und Risikosteuerung mit dem Instrument des Rechts ist an der Schnittstelle zur Technik, zur technischen Praxis, auf Sicherheitsaussagen auf ingenieurwissenschaftlicher Grundlage angewiesen. Das große Sicherheitspotential, das im entwerferischen und konstruktiven Handeln liegt, und die Fähigkeit und Bereitschaft von professionellen Ingenieuren, mit innerer Komplexität und äußeren Kontextbedingungen sowie mit unvermeidlichen Wissensvorbehalten verantwortlich umzugehen, wird von Sicherheitsaussagen nach Maßgabe der Sicherheitstheorie nicht ausreichend eingefangen; angewiesen sind Staat und Gesellschaft hierauf dennoch.

7. Schlußbemerkung.

Es sollte gezeigt werden, daß der Sicherheitsbegriff der Ingenieure ein Handlungsbegriff ist, der subjektive Leistungen und verantwortete Entscheidungen, insbesondere kreative, gestalterische Leistungen einschließt. Dieser umfassende Sicherheitsbegriff der

Praxis schließt den ingenieurwissenschaftlichen Begriff der Sicherheitstheorie ein, durch den die von den Ingenieuren zu erarbeitenden Sicherheitsaussagen fundiert werden. Die Ingenieurpraxis zielt, neben anderen zentralen Werten wie Funktionalität/Gebrauchstauglichkeit, Wirtschaftlichkeit, Ästhetik, auf Sicherheit in einem umfassenden Sinn. Zulässige Sicherheitsaussagen sind eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung zum Erfüllen des umfassenden professionellen Sicherheitsanspruchs. Eine rationale Ingenieurpraxis ohne wissenschaftliche und in diesem Sinn sicherheitstheoretische Grundlage ist heute nicht mehr möglich, aber die Wissenschaftlichkeit einer Sicherheitsaussage garantiert noch nicht die Rationalität der Ingenieurpraxis.

Literatur

- BECHMANN, GOTTHARD; WOLF, STEFAN 1994. Risiko. Das heiße Eisen der Technikbewertung. In: Deutsches Institut für Fernstudienforschung, Funkkolleg Technik, Studienbrief 2; Tübingen
- BIEGER, K. W., Aufbau und Sicherheitskonzept des EC2, darin Abschnitt 3 Sicherheitskonzept; In: Bieger, K.W. (Hg.) 1993. Stahlbeton- und Spannbetontragwerke nach Eurocode 2; Berlin u. a.
- BUTZ, HEINZ-PETER; HEUSER, FRIEDRICH-WILHELM; MAY, HORST; Reaktorsicherheit. In: Peters, Olaf H., Meyna, Arno (Hg.) 1986; Handbuch der Sicherheitstechnik; Bd. 1
- Deutscher Beton-Verein 1973. Sicherheit von Betonbauten (Tagungsbericht Arbeitstagung Berlin 7./8. Mai 73)
- EKARDT, HANNS-PETER 1978. Entwurfsarbeit. Darmstadt; Diss. D17, TU Darmstadt
- EKARDT, HANNS-PETER 1996. Ingenieurverantwortung und HOAI stehen in tatsächlicher Relation. In: Deutsches Ingenieurblatt; Dez. 1996
- EKARDT, HANNS-PETER 1996a. Technik und Politik beim Bau technischer Infrastruktur. Am Beispiel einer Brückenbaumaßnahme. In: VDI-Report 25, Entscheidungsprozesse im Spannungsverhältnis Technik - Gesellschaft - Politik; Düsseldorf
- EKARDT, HANNS-PETER 1998. Die Stauseebrücke Zeulenroda. Ein Schadensfall und seine Lehren für die Idee der Ingenieurverantwortung. In: Stahlbau 67 (1998), H. 9, S. 735-749
- FERGUSON, EUGENE S. 1993. Das innere Auge. Von der Kunst des Ingenieurs; Basel u. a.
- FOGIB DFG-Forschergruppe 1997. „Ingenieurbauten - Wege zu einer ganzheitlichen Betrachtung“ Uni Stuttgart; Institut für Konstruktion und Entwurf II
- GRUSI BAU 1981. Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen. Hg. v. DIN, NA Bau, Ausschuß „Sicherheit von Bauwerken“, Obmann G. Breitschaft
- HARRIES, HANSPETER 1999. Eine neue Sicherheitstheorie für die Analyse von Tragwerken? In: Roßnagel, A., Rust, I., Manger, D. (Hg.), Technik verantworten; Berlin
- HOFFMANN, KLAUS 1986. Risk Management. In: Peters, Olaf H., Meyna, Arno (Hg.), Handbuch der Sicherheitstechnik; Bd. 2; München, Wien

- KERSKEN-BRADLEY, M. 1992. Unempfindliche Tragwerke - Entwurf und Konstruktion. Hinweise und Erläuterungen des Koordinierungsausschusses Sicherheit des Normenausschusses Bauwesen im DIN. In: Bauingenieur 67, S. 1-5
- KERSKEN-BRADLEY, M., DIAMANTIDES, D. 1986. Sicherheit von Baukonstruktionen, in Peters, O.H., Meyna, A. (Hg.), Handbuch der Sicherheitstechnik, Bd. I, München, Wien
- KINKEL, HORST 1999. Die Rolle von Sonderentwürfen in der Praxis des Brückenbaus. In: Roßnagel, A., Rust, I., Manger, D. (Hg.), Technik verantworten; Berlin
- KIRCHNER, G. 1973. Wo v als Sicherheitsmaßstab nicht ausreicht; In: Deutscher Beton-Verein 1973
- KLINGMÜLLER, O., BOURGUND, U. 1992. Sicherheit und Risiko im konstruktiven Ingenieurbau. Braunschweig
- KNOTHE, KLAUS; BÖHMER, ALEXANDER 1998. Eschede - Bemerkungen zur Dauerfestigkeit von Eisenbahnwaggons. In: Internationales Verkehrswesen (50) 11/98
- KÖNIG, G., HOSSER, D., SCHOBBE, W. 1982. Sicherheitsanforderungen für die Bemessung von baulichen Anlagen nach den Empfehlungen des NA BAU - eine Erläuterung. In: Bauingenieur 57 (1982)
- KROHN, W. 1997. Rekursive Lernprozesse: Experimentelle Praktiken in der Gesellschaft. Das Beispiel der Abfallwirtschaft. In: Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 9; Frankfurt
- KROHN, W., KRÜCKEN, G. 1993. Risiko als Konstruktion und Wirklichkeit. In: dies., Riskante Technologien: Reflexion und Regulation; Frankfurt
- LEONHARDT, FRITZ 1990 (3. Aufl.), Brücken; Stuttgart
- LÖFFLER, REINER 1999. Zur Logik des Arbeitsprozesses. Das Konzept und seine Implikationen. In: Roßnagel, A., Rust, I., Manger, D. (Hg.), Technik verantworten; Berlin
- LUHMANN, NIKLAS 1990. Risiko und Gefahr. In: Luhmann, Niklas, Soziologische Aufklärung 5; S. 131-169
- MACKENSEN, RAINER 1997. Konstruktionshandeln; München, Wien
- MÜHLSCHWEIN, WOLFGANG 1979. Tragwerke als Arbeitsgegenstände von Bauingenieuren; Darmstadt; Diss. D17, TU Darmstadt
- NEUSER, UWE; POTTSCHMIDT, AXEL 1999. Ingenieurpraxis im Zaum oder Zaun des Sicherheitsrechts. In: Roßnagel, A., Rust, I., Manger, D. (Hg.), Technik verantworten; Berlin
- PAHL, GERHARD; BEITZ, WOLFGANG 1977. Konstruktionslehre; Berlin u. a.
- PÖTZL, MICHAEL 1996. Robuste Brücken. Vorschläge zur Erhöhung der ganzheitlichen Qualität. Braunschweig
- PÖTZL, MICHAEL 1996a. Robuste Tragwerke - Vorschläge zu Entwurf und Konstruktion. In: Bauingenieur 71, S. 481-488
- PÖTZL, MICHAEL 1999. Zur ganzheitlichen Betrachtung von Bauwerken - Robustheit als Leitbild beim Entwurf von Brücken. In: Roßnagel, A., Rust, I., Manger, D. (Hg.), Technik verantworten; Berlin

- ROßNAGEL, ALEXANDER 1999. Rechtliche Steuerung von Infrastrukturtechnik. In: Roßnagel, A., Rust, I., Manger, D. (Hg.), Technik verantworten; Berlin
- RÜSCH, H. 1973. Einführung in die Begriffe, Methoden und Aufgaben der Sicherheitstheorie; In: Deutscher Beton-Verein 1973
- RÜSCH, H., RACKWITZ, R. 1972. Die Bedeutung des Begriffs Versagenswahrscheinlichkeit in der Sicherheitstheorie für Bauwerke. In: Entwickeln, Konstruieren, Bauen 1872-1972, Held und Francke Bauaktiengesellschaft, München
- SCHEER, J., PASTERNAK, H., HOFMEISTER, M. 1994. Gebrauchstauglichkeit - (K)ein Problem? In: Bauingenieur 69 (1994), S. 99-106
- SCHLAICH, J., PÖTZL, M. 1993. Zum Entwerfen von robusten Tragwerken. In: Festschrift zum Ehrenkolloquium von Prof. E. Hampe; Weimar
- SCHNEIDER, JÖRG 1996. Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen. Grundwissen für Ingenieure; Zürich, Stuttgart (2. Aufl.)
- SCHWARZ, HEINZ 1977. Sicherheit und Zuverlässigkeit. Restriktionen oder Zielkomponenten der Entwurfsoptimierung? Beitrag zur 2. Internationalen Konferenz über Tragwerksicherheit und Zuverlässigkeit; München
- SIEBKE, H. 1973. Was darf der Bauingenieur von einer neuen Sicherheitstheorie erwarten?; In: Deutscher Beton-Verein 1973

Prof. Dr. Hanns-Peter Ekardt
Belgische Straße 41
D-34121 Kassel